

УДК 661.664.1:66.094.3.097:66.097.3

doi:10.20998/2413-4295.2019.05.14

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ВЫХОД ЦИАНИСТОГО ВОДОРОДА

С. И. АВИНА*, Г. И. ГРИНЬ

кафедра химической технологии неорганических веществ, катализа и экологии, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, УКРАИНА

*e-mail: svetlanaavina@gmail.com

АННОТАЦИЯ Представлены основные результаты исследований по влиянию технологических параметров на образование цианистого водорода окислительным аммонолизом метана. Промышленное производство цианистого водорода является основой производства одного из важных компонентов в золотодобыче - цианида натрия. На сегодняшний день основной способ производства цианистого натрия базируется на нейтрализации синильной кислоты, полученной каталитическим синтезом метана, аммиака и кислорода воздуха на платиновом катализаторе, раствором щелочи. Этот метод достаточно мало изучен и имеет большие перспективы для дальнейшего его совершенствования. Цель исследования заключалась в установлении оптимального соотношения компонентов начальной газовой смеси и влияние их на выход цианистого водорода, а также исследовать зависимость степени превращения цианистого водорода от температуры процесса. При окислительном аммонолизе метана с учетом неравномерности диффузии газов процесс получения цианистого водорода проводят с небольшим избытком аммиака относительно метана. Установлено, что при пониженном содержании одного из реагентов в начальной газовой смеси после реактора синтеза цианистого водорода в контактной газе присутствует значительное количество непрореагировавших компонентов смеси. Выявлено, что степень превращения реагентов в цианистый водород зависит не только от начальной концентрации, а также и от их соотношения в исходной смеси. Доказано, что максимальная степень превращения аммиака и метана достигается при соотношении компонентов аммиак/метан в реакционной смеси, равном 1-1,1. Максимальный выход цианистого водорода при окислительном аммонолизе метана составляет 7,2 %. Исследовано влияние температуры на процесс образования цианистого водорода методом Андрусова. Установлено, что повышение температуры процесса получения цианистого водорода окислительным аммонолизом метана оказывает положительный эффект на выход целевого продукта. Полученные результаты исследований можно использовать на современных азотно-туковых комбинатах для оптимизации процесса синтеза синильной кислоты.

Ключевые слова: цианистый водород; синильная кислота; катализатор; метан; аммиак; синтез

STUDY OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE OUTPUT OF HYDROGEN CYANIDE

S. AVINA, G. GRYN

Department of chemical technologies of inorganic substances, catalysis and ecology, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The article presents the main results of research on the effect of technological parameters on the formation of hydrogen cyanide by the oxidative ammonolysis of methane. Industrial production of hydrogen cyanide is the basis for the production of one of the important components in gold mining - sodium cyanide. To date, the main method of production of sodium cyanide is based on the neutralization of hydrocyanic acid obtained by the catalytic synthesis of methane, ammonia and oxygen of the air on a platinum catalyst, with an alkali solution. This method has been little studied and has great prospects for its further improvement. The purpose of the study was to establish the optimal ratio of the components of the initial gas mixture and their influence on the output of hydrogen cyanide, as well as to investigate the dependence of the degree of conversion of hydrogen cyanide on the process temperature. In oxidative ammonolysis of methane, taking into account the non-uniformity of gas diffusion, the process of producing hydrogen cyanide is carried out with a small excess of ammonia relative to methane. It has been established that with a reduced content of one of the reagents in the initial gas mixture after the hydrogen cyanide synthesis reactor, a significant amount of unreacted components of the mixture is present in the contact gas. It was revealed that the degree of conversion of reagents into hydrogen cyanide depends not only on the initial concentration, but also on their ratio in the initial mixture. It is proved that the maximum degree of conversion of ammonia and methane is achieved when the ratio of components of ammonia / methane in the reaction mixture is 1-1.1. The maximum yield of hydrogen cyanide in the oxidative ammonolysis of methane is 7.2%. The effect of temperature on the formation of hydrogen cyanide by the method of Andrussov is investigated. It has been established that an increase in the temperature of the process for producing hydrogen cyanide by the oxidative ammonolysis of methane has a positive effect on the yield of the target product. The obtained research results can be used at modern nitrogen-fertilizer plants to optimize the process of synthesis of hydrocyanic acid.

Keywords: hydrogen cyanide; hydrocyanic acid; catalyst; methane; ammonia; synthesis

Введение

Промышленное производство синильной кислоты является основой производства одного из

важных компонентов в золотодобыче - цианида натрия [1-5]. Анализ мирового рынка потребления цианида натрия показал, что спрос на него растет с каждым годом из-за резкого роста добычи

золота и открытия новых месторождений, а также аффинажа золотосодержащих шламов [6-9], поэтому исследования данной технологии является актуальным и своевременным.

На сегодняшний день основной способ производства цианистого натрия базируется на получении цианистого водорода (HCN), его ректификации в синильную кислоту с дальнейшей нейтрализацией раствором щелочи [10,11].

Существует несколько способов производства цианистого водорода: каталитическое окисление метана, аммиака и кислорода воздуха на платиноидном катализаторе при высокой температуре, так званый метод Андрусова [12], прямой синтез метана и аммиака на платиновом катализаторе - метод Дегусса и другие [13].

Получение цианистого водорода по методу Андрусова протекает на поверхности платинового катализатора различного состава и формы [14,15]. Основная реакция получения цианистого водорода:



сопровождается рядом побочных реакций, ведущих к потере исходного сырья и загрязнения реакционного газа. В контактном газе кроме цианистого водорода присутствуют газы, которые не прореагировали (метан, аммиак, кислород) и побочные продукты такие как: оксид углерода (II), оксид углерода (IV), пары воды и водород [16]. Вследствие протекания этих реакций увеличивается расход аммиака и метана, исходных компонентов смеси, что приводит к увеличению себестоимости синильной кислоты.

Если учитывать только основную реакцию (1), то состав исходной смеси должен быть следующим, % об.: NH_3 –10,95, CH_4 –10,95, O_2 –16,4, N–61,7 или мольное соотношение компонентов смеси должны относиться как 1:1:1,5 [2,16]. Но на практике это соотношение не соблюдается и может колебаться в различных пределах.

Авторами работы [17] установлено, что максимальная степень превращения реагентов в цианистый водород достигается при начальном составе смеси, близком к стехиометрическому (аммиак - 10,92% об., метан - 10,92% об., остальное воздух), при этом выход цианистого водорода составляет не менее 68%.

Несмотря на то, что процесс получения цианистого водорода методом окислительного аммонолиза метана имеет более высокие показатели по сравнению с другими методами производства [18,19], он мало изучен [20] и имеет большие перспективы для дальнейшего его усовершенствования.

Цель работы

Цель исследования заключалась в установлении оптимального соотношения компонентов исходной газовой смеси и влияние их на выход цианистого водорода.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- установить зависимость выхода целевого продукта от соотношения компонентов в исходной газовой смеси,
- исследовать зависимость степени превращения цианистого водорода от температуры процесса,
- определить максимальный выход целевого продукта от продолжительности работы реактора.

Изложение основного материала

Из практики работы реального производства синильной кислоты известно, что отсутствует какой-либо один технологический параметр, изменение которого определяет эффективность синтеза в целом. Это позволяет предположить, что процесс окислительного аммонолиза метана можно рассматривать как сложную систему, которая характеризуется влиянием всей совокупности технологических параметров на выход цианистого водорода.

В промышленных условиях с учетом неравномерности диффузии газов процесс получения цианистого водорода проводят с небольшим избытком аммиака относительно метана. Существенное повышение концентрации, над стехиометрически необходимым количеством реагентов, нецелесообразно, так как начинается проскок непрореагировавших компонентов, что приводит к образованию углерода на поверхности платиноидного катализатора. Кроме того, при пониженном содержании одного из реагентов в начальной газовой смеси приводит к протеканию побочных реакций, что увеличивает себестоимость целевого продукта. Таким образом, степень превращения реагентов в цианистый водород зависит не только от начальной концентрации, а также и от их соотношения.

Исследования влияния основных технологических параметров на образование цианистого водорода проводились в промышленных условиях на 8 вязанных платиноидных сетках, следующего состава, % масс.: Pt-90, Rh-10. Температура процесса окислительного аммонолиза метана составляла 900-940 °C.

Основным показателем эффективности любого процесса является степень превращения компонентов в целевой продукт. Исследование влияния отношения компонентов (метана и аммиака) реакционной смеси на степень образования цианистого водорода показано на рис. 1.

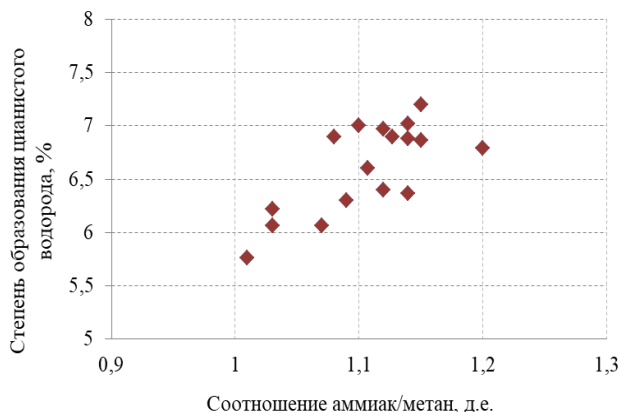


Рис. 1 – Зависимость степени образования цианистого водорода от соотношения аммиак/метан в исходной реакционной смеси

Из рис. 1 видно, что в широком интервале варьирования параметров процесса, а именно влияния соотношения аммиак/метан, просматривается четко общая тенденция, что работа на смесях с избытком аммиака положительно влияет на выход продукта.

В ходе работы исследовано влияние температуры в контактном реакторе производства синильной кислоты на степень превращения цианистого водорода. Данные представлены на рис. 2.

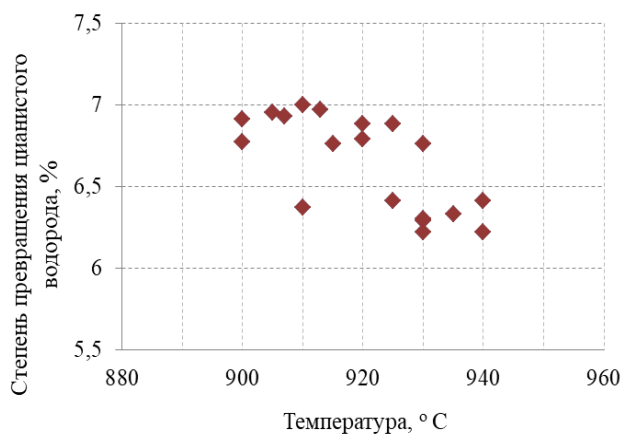


Рис. 2 – Зависимость степени превращения цианистого водорода от температуры процесса

Анализ данных показал, что повышение температуры процесса окислительного аммонолиза метана положительно сказывается на образовании цианистого водорода.

Проанализировано промышленные данные работы контактного реактора производства синильной кислоты, которые представлены на рис. 3.

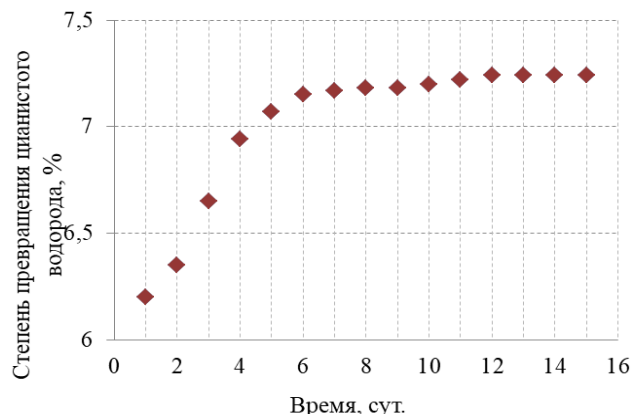


Рис. 3 – Зависимость степени превращения цианистого водорода от времени

Анализ графических данных показал, что максимальная степень превращения цианистого водорода составляет 7,2 % и приходится на 12 сутки работы промышленного реактора.

Обсуждение результатов

Основные технологические показатели в значительной степени влияют на себестоимость синильной кислоты, поэтому меры по их оптимизации являются важной технологической задачей.

Исследование влияния соотношения компонентов реакционной смеси (метан, аммиак, воздух) на степень образования цианистого водорода показано на рис. 1. Анализ данных позволил не только выявить тенденцию влияния соотношения начальных реагентов, а также установить максимальный выход продукта. Выявлено, что в широком интервале технологических параметров увеличение соотношения аммиак/метан в интервале 1-1,2 приводит к повышению степени образования цианистого водорода до 7-7,2%.

Отметим, что небольшой избыток аммиака практически не сказывается на выходе цианистого водорода, но при этом существенно расширяются взрывобезопасные зоны проведения процесса окислительного аммонолиза метана (действие аммиака превосходит соответствующее влияние азота, способствующего образованию невзрывчатых и невоспламеняющихся метан-аммиак-воздушных смесей).

Результаты исследования влияния температуры процесса окислительного аммонолиза метана на степень образования цианистого водорода (рис. 2) показывают, что при температуре процесса 900-920 °C, степень превращения цианистого водорода составляет порядка 7%, а при увеличении температуры

степень образования цианистого водорода немного снижается и составляет 6,3-6,5%. По нашему мнению это может быть связано с процессом разложения полученного цианистого водорода сразу после каталитического пакета в зоне реакции, что и приводит к снижению выхода цианистого водорода.

Анализ промышленных данных работы цеха синильной кислоты, показал, что со времени пуска контактного реактора уже на 4 сутки степень превращения цианистого водорода составляет приблизительно 7%, а максимальная степень достигается на 10 сутки работы оборудования и становится стабильной.

Выводы

Проведенные исследования влияния содержания соотношения реагентов в исходной газовой смеси на выходе цианистого водорода показали, что соотношение компонентов аммиак/метан должно быть 1,1 при этом выход целевого продукта цианистого водорода может составлять 7,2%. Установлено, что в промышленных условиях необходимо проводить процесс получения цианистого водорода с небольшим избытком одного из компонентов, а именно аммиака. Процесс получения цианистого водорода проводится с избытком аммиака относительно метана на 10 %.

Выявлено, что оптимальная температура процесса окислительного аммонолиза метана составляет 920 °С при соотношении аммиак/метан в исходной реакционной смеси 1,1.

Список литературы

1. Laitos, Jan G. Cyanide, Mining, and the Environment / Jan G. Laitos // *Pace Envtl. L. Rev.* – 2013. – P. 869-949.
2. Технологія зв'язаного азоту: підручник / Л. Л. Товажнянський, О. Я. Лобойко, Г. І. Гринь та ін. – Харків : НТУ «ХПІ», 2007. – 536 с.
3. Hilson, G. Alternatives to cyanide in the gold mining industry: what prospects for the future / G. Hilson, A.J. Monhemius // *Journal of cleaner production.* – 2006. – 14. – I. 12-13. – P. 1158-1167. – doi:10.1016/j.jclepro.2004.09.005.
4. Позин, М. Е. Технология минеральных солей (удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот) / М. Е. Позин. – Ленинград : Химия, 1974. – 768 с.
5. Авина, С. И. Пути повышения качества цианистого натрия / С. И. Авина // *Збірник тез доповідей I Міжнародної (XI Української) наукової конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Хімічні проблеми сьогодення (ХПС-2018)»*. – Вінниця, 2018. – С. 232.
6. Deschênes, G. Gold Ore Processing (Second Edition). Project Development and Operation, 2016. – P. 429-445. – doi:10.1016/B978-0-444-63658-4.00026-8.
7. Asamoaha, R. K. Alkaline cyanide leaching of refractory gold flotation concentrates and bio-oxidised products: The effect of process variables / R. K. Asamoaha, W. Skinnera, J. Addai-Mensah // *Hydrometallurgy.* – 2018. – 179. – P. 79-93. – doi:10.1016/j.hydromet.2018.05.010.
8. La Torre, E. Improvements to the cyanidation process for precious metal recovery from WPCBs. / E. La Torre, S. Gámez, E. Pazmiño // *Waste Electrical and Electronic Equipment Recycling.* – 2018. – P. 115-137. –doi:10.1016/B978-0-08-102057-9.00005-6.
9. Olyaei, Y. Mercury, and Silver Extraction by Chemical and Physical Separation Methods. / Y. Olyaei, S. Aghazadeh, M. Gharabaghi, H. Mamghaderi, J. Mansouri // *Rare Metal Materials and Engineering.* – 2016. – 45. – I. 11. – P. 2784-2789. – doi:10.1016/S1875-5372(17)30040-1.
10. Бобков, С. С. Синильная кислота / С. С. Бобков, С. К. Смирнов. – Москва : Химия, 1970. – 176 с.
11. Авина, С. И. Определение характера и распределения потерь металлов платиновой группы по технологической линии производства азотной и синильной кислот / С. И. Авина, Г.И. Гринь // *Вестник НТУ «ХПІ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 45 (1321). – С. 148-152. – doi:10.20998/2413-4295.2018.12.01.
12. Bodke, A. S. Hydrogen addition to the Andrussow process for HCN synthesis / A. S. Bodke, D. A. Olschki., L. D. Schmidt // *Applied Catalysis A: General.* – 2000. – 201. – P. 13-22. – doi:10.1016 / S0926-860X (00) 00419-1.
13. Hasenberg, D. HCN synthesis from CH₄, NH₃, and O₂ on clean Pt / D. Hasenberg, L. D Schmidt. // *J. of catalysis.* – 1987. – 104. – P.441-453.
14. Rdzawski, Z. M. Microstructure and properties of the new Pt-Rh based alloys for high-temperature applications / Z. M. Rdzawski, J. P. Stobrawa // *J. of Materials Processing Technology.* – 2004. – 153-154. – P. 681-687. –doi:10.1016/j.jmatprotec.2004.04.130.
15. Dong, H. Recovery of platinum group metals from spent catalysts: A review / H. Dong, J. Zhao, J. Chen, Y. Wu, B. Li // *International Journal of Mineral Processing.* – 2015. – 145. – P. 108-113. – doi:10.1016/j.minpro.2015.06.009.
16. Авина, С. И. Дослідження впливу складу вихідної газової суміші на утворення цианистого водню / С. І. Авина, Г. І. Гринь, Т. В. Школьнікова // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 39 (1315). – С. 27-30. – doi:10.20998/2079-0821.2018.39.05.
17. Гринь, Г. И. Влияние состава исходной газовой смеси и нагрузки по ней на выход цианистого водорода образующегося при окислительном аммонолизе метана / Г. И. Гринь, Н. В. Трусов // *Журнал прикладной химии.* – 1992. – Т. 65. – №10. – С. 2300-2305.
18. Пат. 2496717 Российская Федерация. Способ получения синильной кислоты / Белинг Р. Заявка № 2010123683/05, заявл. 20.12.2011; опубл. 27.10.2013, Бюл. № 30.

19. Moehmel, S. New catalytic materials for the high-temperature synthesis of hydrocyanic acid from methane and ammonia by high-throughput approach / S. Moehmel, N. Steinfeldt, S. Engelschalt, M. Holena, S. Kolf, M. Baerns, U. Dingerdissen, D. Wolf, R. Weber, M. Bewersdorf // *Applied Catalysis A: General*. – 2008. – 334(1-2). – P. 73–83. – doi:10.1016/j.apcata.2007.09.035.
20. Gómez-Díaz, J. Mechanistic Switch between Oxidative (Andrussow) and Nonoxidative (Degussa) Formation of HCN on Pt(111) by Density Functional Theory / J. Gómez-Díaz, L. Núria // *J. Phys. Chem. C*. – 2011. – 115 (13). – P. 5667–5674. – doi: 10.1021/jp1093349.
10. Bobkov, S. S. Smirnov, S. K. Sinilnaya kislota. Moskva: Himiya, 1970, 176.
11. Avina, S., Gryn, G. Determination of the disposition and distribution of losses of platinum group metals on the technological line of production of nitric and hydrocyanic acids. Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **45** (1321), 148–152, doi:10.20998/2413-4295.2018.45.20.
12. Bodke, A. S., Olschki, D. A., Schmidt, L. D. Hydrogen addition to the Andrussow process for HCN synthesis. *Applied Catalysis A: General*, 2000, **201**, 13–22, doi:10.1016/S0926-860X (00) 00419-1.
13. Hasenberg, D., Schmidt, L. D. HCN synthesis from CH₄, NH₃, and O₂ on clean Pt. *J. of catalysis*, 1987, **104**, 441–453.
14. Rdzawski, Z. M., Stobrawa, J. P. Microstructure and properties of the new Pt–Rh based alloys for high-temperature applications. *J. of Materials Processing Technology*, 2004, **153-154**, 681–687, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2004.04.130.
15. Dong, H., Zhao, J., Chen, J., Wu, Y., Li, B. Recovery of platinum group metals from spent catalysts: A review. *International Journal of Mineral Processing*, 2015, **145**, 108–113, doi:10.1016/j.minpro.2015.06.009.
16. Avina, S. I. Gryn, G. I., Shkolnikova, T. V. Doslidzhennya vplivu skladu vihidnoyi gazovoyi sumishi na utvorenniya tsianistogo vodnyu. *Visnik NTU «HPI»*, Seriya: Himiya, himichna tehnologiya ta ekologiya, 2018, **39**(1315), 27–30, doi:10.20998/2079-0821.2018.39.05.
17. Gryn, G. I., Trusov, H. V. Vliyanie sostava ishodnoy gazovoy smesi i nagruzki po ney na vyihod tsianistogo vodoroda obrazuyuschegosya pri okislitelnom ammonolize metana. *Zhurnal prikladnoy himii*, 1992, **65**(10), 2300–2305.
18. Pat. 2496717 Rossiyskaya Federatsiya. Sposob polucheniya sinilnoy kisloty / Beling R. Zayavka № 2010123683/05, zayavl. 20.12.2011; opubl. 27.10.2013, Byul. № 30.
19. Moehmel, S., Steinfeldt, N., Engelschalt, S., Holena, M., Kolf, S., Baerns, M., Dingerdissen, U., Wolf, D., Weber, R., Bewersdorf, M. New catalytic materials for the high-temperature synthesis of hydrocyanic acid from methane and ammonia by high-throughput approach. *Applied Catalysis A: General*, 2008, **334**(1-2), 73–83, doi:10.1016/j.apcata.2007.09.035.
20. Gómez-Díaz, J., Núria, L. Mechanistic Switch between Oxidative (Andrussow) and Nonoxidative (Degussa) Formation of HCN on Pt(111) by Density Functional Theory. *J. Phys. Chem. C*, 2011, **115** (13), 5667–5674, doi: 10.1021/jp1093349.

References (transliterated)

Сведения об авторах (About authors)

Авина Светлана Ивановна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший преподаватель кафедры химической технологии неорганических веществ, катализа и экологии; г. Харьков, Украина; e-mail: svetlanaavina@gmail.com.

Svetlana Avina – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Lecturer, Department of chemical technology of inorganic substances, catalysis and ecology, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: svetlanaavina@gmail.com.

Гринь Григорій Іванович – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры химической технологии неорганических веществ, катализа и экологии; г. Харьков, Украина; e-mail: gryn@kpi.khakov.ua.

Gregorii Gryn – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, Department of chemical technology of inorganic substances, catalysis and ecology, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: gryn@kpi.khakov.ua.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Авина, С. И. Исследование влияния технологических параметров на выход цианистого водорода / **С. И. Авина, Г. И. Гринь** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 5 (1330). – С. 109-114. – doi:10.20998/2413-4295.2019.05.14.

Please cite this article as:

Avina, S., Gryn, G. Study of the influence of technological parameters on the output of hydrogen cyanide. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, **5** (1330), 109-114, doi:10.20998/2413-4295.2019.05.14.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Авіна, С. І. Дослідження впливу технологічних параметрів на вихід ціаністого водню / **С. І. Авіна, Г. І. Гринь** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 5 (1330). – С. 109-114. – doi:10.20998/2413-4295.2019.05.14.

АНОТАЦІЯ Представлені основні результати досліджень щодо впливу технологічних параметрів на утворення ціаністого водню окислювальним аммонолізом метану. Промислове виробництво ціаністого водню є основою отримання одного з важливих компонентів видобутку золота - ціаніду натрію. На сьогоднішній день основний спосіб виробництва ціаністого натрію базується на нейтралізації синильної кислоти, отриманої каталітичним синтезом метану, аміаку і кисню повітря на платиновідному каталізаторі, розчином луку. Цей метод досить мало вивчений і має великі перспективи для подальшого його вдосконалення. Мета дослідження полягала у встановленні оптимального співвідношення компонентів початкової газової суміші і вплив їх на вихід ціаністого водню, а також у дослідженні залежності ступеня утворення ціаністого водню від температури процесу. При окислювальному аммонолізі метану з урахуванням нерівномірності дифузії газів процес отримання ціаністого водню проводять з невеликим надлишком аміаку щодо метану. Встановлено, що при пониженому вмісті одного із реагентів у початковій газовій суміші після реактора синтезу ціаністого водню в контактному газі присутня значна кількість компонентів суміші, що не прореагували. Виявлено, що ступінь перетворення реагентів у ціаністий водень залежить не тільки від початкової концентрації, а також і від її співвідношення у вихідній суміші. Доведено, що максимальна ступінь перетворення аміаку і метану досягається при співвідношенні компонентів аміак/метан в реакційній суміші, що дорівнює 1-1,1. Максимальний вихід ціаністого водню при окислювальному аммонолізі метану становить 7,2%. Досліджено вплив температури на процес утворення ціаністого водню методом Андрусова. Встановлено, що підвищення температури процесу отримання ціаністого водню окислювальним аммонолізом метану надає позитивний ефект на вихід цільового продукту. Отримані результати досліджень можна використовувати на сучасних азотно-тукових комбінатах для оптимізації процесу синтезу синильної кислоти.

Ключові слова: ціаністий водень; синильна кислота; каталізатор; метан; аміак; синтез

Поступила (received) 25.02.2019